

전기저항선용 Fe-xCr합금의 미세조직에 미치는 Al 및 Ti첨가의 영향

Effects of Al and Ti Additions on Microstructure in Fe-xCr Alloy for Electrical Resistance Wire.

최수정, 박수동, 이희웅, 김봉서(한국전기연구소)

Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

The aim of this paper is to investigate the effect of Al and Ti on microstructure of Fe-Cr-Al alloy systems for applying electrical resistance wires of electrical furnace. From the preliminary study, the amount of recovered addition elements increased in the case of both vacuum and Ar-atmosphere melting than that in the case of air-atmosphere melting. Also, optimum Cr content for good performance at high temperature was approximately 24wt% from the observation of microstructure. The precipitates of Fe-Cr, Al-Cr and Al phases were observed, adding Al and Ti. Especially, Sharp rectangular shapes of precipitates were observed with increasing amount of Ti.

Key Words(중요용어) : Electrical resistance wire, Fe-Cr-Al alloy, Microstructure change,

1. 서론

현재까지 열처리 기기분야에서 가장 우선적 선택되고 있는 전기로는 손쉬운 온도제어와 뛰어난 열처리 신뢰도, 친환경적 기기특성을 가진다. 이와 같은 장점은 발열체인 전기저항선의 안정적 물성에 크게 의존하므로 전기로의 전기저항선은 고온에서도 안정적인 전기적, 기계적 성질을 나타내야 할 뿐만 아니라 다양한 화학적 환경에서도 우수한 내식성이 보장되어야만 한다. 현재 이용되고 있는 전기로의 전기저항선 재료는 Ni-Cr계, Fe-Cr-Al계, Mo, W 등의 금속합금과 SiC, MoSi₂ 및 세라믹 등이 있으나 이들 중 Fe-Cr-Al합금이 적절한 경제성과 손쉬운 운용성을 바탕으로 가장 널리 이용되고 있다.

Fe-Cr-Al합금은 표면에 형성된 Al₂O₃피막에 의해 황화가스에 대한 내식성과 우수한 내산화성도 함께 나타낼 뿐만 아니라 전기저항 밀도도 높아 대표적 전기저항선으로 이용되고 있다. 실제 상품명 "Kantal"로 대표되는 외국제품들은 최대 ~1400℃의 상용온도를 보장할 만큼 우수한 성능을 나타내고 있다. 그러나, 이것에 관련한 국내의 연구평가와 개발 시도는 80년대 말 저급 Fe-Cr계 재료에 대한 시도가 일부 있었을 뿐 상용화된 예는 없고 최근의 연구 역시 Fe-xCr-Al합금의 내열성과 고온부식성에 관련한 보고만이 있을 뿐이다.

본 연구에서는 Fe-xCr 2원계 기본합금에 고온 내식성과 고온 기계적 특성에 중요한 역할을 하는 Al과 Ti를 첨가하고, 이것에 따른 다양한 주조와 열처리 조건에서의 미세조직 변화를 조사 분석함으로써 Fe-Cr계 전기로용 전기저항선 개발을 위한 기초 자료를 얻고자 하였다.

1) 한국전기연구소 신소재응용연구그룹
경남 창원시 성주동 28-1
Fax. : 0551-280-1590
(E-mail : hulee@keri.re.kr)

2. 실험 방법

시편의 제조는 기본적으로 진공 유도 용해로를 이용하여 3Kg의 직사각형 몰드에서 제조하였다. Fe-Cr 2원계 합금에 Al과 Ti를 첨가한 시료합금의 조성은 Cr의 경우 22~28wt%, Al은 4~5wt%, Ti은 0.2~1.0wt%의 조성범위에서 설계하였다. 용해조건은 분위기에 따른 각 성분의 회수율 변화를 조사하기 위해 각각 공기중, 진공, 비활성 분위기의 세가지로 설정하였고, 진공중 용해는 1.5×10^{-4} torr의 조건에서 비활성 분위기는 1atm의 Ar가스분위기에서 시행하였다. 진공 유도 용해로를 통해 제조된 합금은 1000℃에서 1시간 동안 균질화 처리한 뒤 수냉하였고, 1000℃에서 50%압하율로 단조한 다음 기계가공을 통해 12.5mm ϕ 의 봉상으로 제작하였다. 이 후 900℃에서 스웨이징하여 7.5mm ϕ 까지 가공하였다. 각 주조조건에 따른 미세조직의 변화는 광학 현미경으로 관찰하였고 미세상은 주사전자현미경과 EDX를 통해 분석하였다. 경도측정은 주조 상태와 열처리 상태의 시편에 대해 Rockwell 경도기를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1 주조조건에 따른 미세조직의 변화

전기저항선은 고융점의 Fe, Cr과 저융점의 Al을 함께 용해해야 하는 어려움이 있고, 특히 Cr이나 Al은 산화되기 쉽기 때문에 각 성분의 함유량은 주조조건에 의해 큰 영향을 받게 된다. 또한 선행 연구

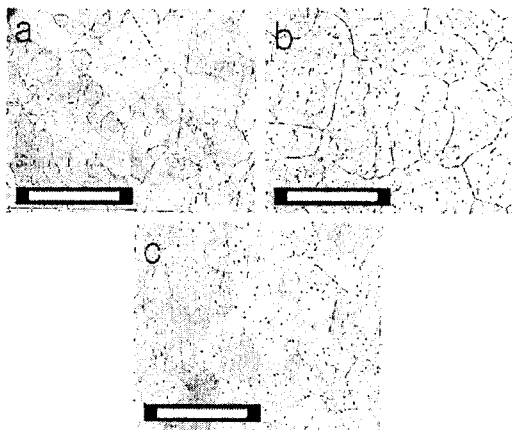


Photo. 1. Micrographs of Fe-24wt%Cr-6wt%Al alloys as solid solution treated with casting condition
a) in air b) Ar atmosphere, 1 atm. c) in vacuum

결과에 의하면 합금조성에 크게 의존하는 석출물의 석출특징은 전기저항선의 사용온도와 밀접한 관련성이 있는 것으로 보고되고 있다. 사진 1은 각 용해조건에서 주조한 후 용체화처리한 시편의 광학현미경 조직사진이다. Ar분위기에서 용해된 시편의 조직은 공기 중에서 용해한 시편에 비해 더욱 많은 미세상이 석출하였고 그 경향은 진공 중에서 용해한 시편과 거의 유사한 조직적 특징을 나타냈다. 이 결과는 합금원소의 회수율에 기인한 것으로 용해조건에 따른 각 성분의 회수율 결과와 비교하면 회수율이 높을수록 더욱 많은 미세상의 석출이 나타났다. 주조 및 열처리과정 중에 나타나는 미세상은 고온에서 결정립성장을 억제하여 전기저항을 증가시킬 뿐 아니라 보다 우수한 고온물성을 나타내는 원인이 된다.

3-2 미세조직변화에 미치는 Cr함유량의 영향

Fe-Cr계 합금에서 Cr함유량의 증가는 내산화성과 고온 내식성을 증가시키지만 이와 함께 성형성, 용접성 및 경제성의 저하 등 실용적인 측면에서의 제약도 동반되는 특징이 있다. 그러므로 최적 Cr함유량의 결정은 Fe-Cr합금계의 고온물성과 가공성 및 경제성의 균형을 확보하는 중요한 과정이다. 그림 1에서는 Cr함유량을 22, 24, 28wt%로 변화시킨 시편의 용체화처리(880℃에서 1시간동안) 직후의 경도를 나타내었다. 24wt%Cr의 경우가 가장 높은 경도를

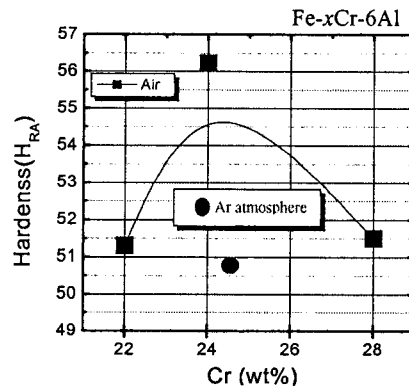


Fig. 1. Change of Rockwell hardness with Cr content in Fe-xCr-6Al alloys as solid solution treated at 880℃ for 1hr

나타내었으며 이것을 미세조직 결과와 비교하면 24wt%Cr합금의 높은 경도는 결정립 미세화에 의한 것으로 판단된다.

3-3 Al 및 Ti 첨가의 영향

Al은 고온에서 안정한 산화피막을 형성하여 고온 내식성을 향상시키는 중요한 원소이지만 형성된 피막이 모재와의 접착력이 약하기 때문에 박리되기 쉽다. 이것을 방지하기 위해서는 산화 활성화 원소인 Ti을 첨가함으로써 산화층과 모재와의 접착력을 향상시켜 내산화성과 고온강도를 개선할 수 있다.

사진 2는 0.5wt%Ti이 첨가된 Fe-24Cr-4.5Al합금의 주사전자현미경조직으로 다양한 석출상의 형상을 나타낸다. 이들은 EDX분석결과 Fe-Cr 및 Al-Cr형

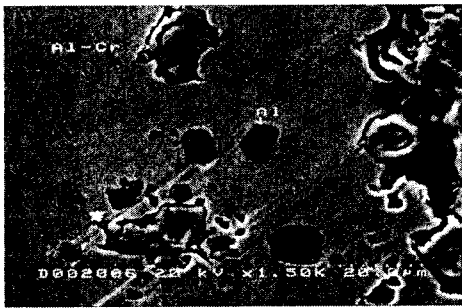


Photo. 2. SEM micrographs with Al and Ti contents Fe-(24-x)Cr-4.5Al-xTi as solid solution treated at 880°C for 1hr

태의 석출물과 Al단독 석출상이었다. 이와 같은 조직을 비교관찰한 결과, Fe-24wt%Cr-5wt%Al의 3원계 합금에 Ti을 첨가한 경우 Ti첨가량에 따른 뚜렷한 조직적 변화는 나타나지 않았다. 그러나, Ti의 첨가량이 증가할수록 Al석출물의 각형화가 뚜렷해졌

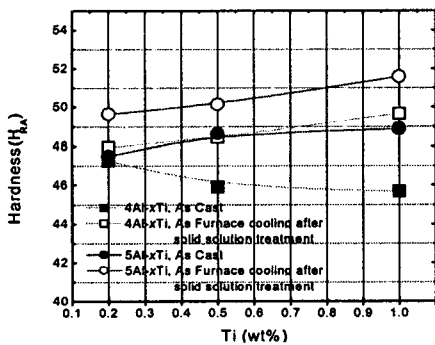


Fig. 2. Change of Rockwell hardness with Al and Ti contents and heating condition in Fe-(24-x)Cr-4.5Al-xTi as furnace cooling after solid solution treatments at 880°C for 1hr and as cast.

다. 이것에 비해 Fe-24wt%Cr-4wt%Al합금에 Ti을 첨가한 경우에는 조직적 변화가 더욱 뚜렷해져 Ti첨가량의 증가에 의해 부분적 편석현상과 보다 거칠고 조대한 형상의 석출물이 관찰되었다. 그림 2에서는 주조 직후의 시편과 용체화 처리한 후 노냉한 시편의 Al과 Ti함량 변화에 의한 경도변화를 나타냈다. 4wt%Al이 첨가된 합금에 비해 5wt%Al이 첨가된 합금의 경우가 더욱 높은 경도를 나타냈고 주조재에 비해 용체화처리한 경우가 더욱 높은 경도를 나타냈다. 이것은 용체화처리 중에 석출한 미세 석출물에 의한 것을 생각된다, 또한, Ti첨가량이 증가함에 따라서도 주조상태의 4wt%Al첨가합금을 제외한 나머지 합금의 경도는 증가하였다. 주조한 4wt%Al첨가합금의 경우 Ti첨가량이 증가함에 따라 경도는 감소하였는데 이것은 주조상태에서 관찰된 바 있는 조대 석출상의 존재에 의한 것으로 추측된다.

4. 결 론

Fe-xCr 2원계 기본합금에 Al과 Ti을 첨가하여 다양한 용해와 열처리 조건에서의 미세조직 변화를 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Fe-Cr-Al-Ti합금의 용해 시, 공기중에서 용해한 경우에 비해 Ar분위기와 진공 분위기에서 용해할 경우 더욱 높은 성분원소의 회수율을 얻을 수 있다.
- 2) Cr함유량에 따른 기계적, 조직적 성질의 변화를 조사한 결과 최적의 Cr함유량은 24wt%로 판단된다.
- 3) Al과 Ti의 첨가로 인해 Al-Cr혼합 석출상과 Al의 단독 석출상 및 Fe-Cr의 화합물상이 석출하였으며, 용체화처리 직후의 경도도 증가하였다. 특히, 이들 석출상중 Al석출상은 Ti의 첨가량이 증가할수록 더욱 각형화되는 특징을 나타냈다.

5. 참고 문헌

1. P.S. Hodgson and Jackson : Metals Forum, Vol. 4, No.4(1981),198
2. 신용창, 이기선, 오규한, 박원옥, 나형용 : 대한금속학회지, Vol.34, No.11(1996),936
3. 주성민, 김재연, 최한철, 최담천 : 대한금속학회지, Vol.37, No.11,(1999),1381